

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Dalibor Viderščak

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Krešimir Grilec, dipl. ing.

Student:

Dalibor Viderščak

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se profesoru Krešimiru Grilecu na ukazanom razumijevanju i odvojenom vremenu prilikom pomoći kod izrade ovog rada.

Dalibor Viderščak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **DALIBOR VIDERŠČAK**

Mat. br.: 0035194056

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **MATERIJALI DIJELOVA MOBILNOG TELEFONA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **MATERIALS OF MOBILE PHONE COMPONENTS**

Opis zadatka:

Za izradu mobilnih telefona koriste se različite vrste materijala. Pri tome se pri izradi pojedinih dijelova koriste metali, polimeri, keramika i kompoziti odnosno sve grupe materijala.

U ovom radu je potrebno:

- 1) Nabrojati i opisati najvažnije dijelove mobilnog uređaja.
- 2) Istražiti koji se materijali najčešće koriste za izradu njegovih pojedinih dijelova.
- 3) Usporediti prednosti i nedostatke primjene pojedinih materijala.
- 4) Provesti karakterizaciju materijala nekih dijelova konkretnog mobilnog uređaja.
- 5) Analizirati dobivene rezultate i identificirati materijale ispitanih dijelova.

Zadatak zadan:

25. studenog 2015.

Rok predaje rada:

1. rok: 25. veljače 2016.
2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.
3. rok: 17. rujna 2016.

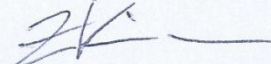
Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.
3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadatak zadao:


Izv.prof.dr.sc. Krešimir Grilec

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD.....	1
2. NAJVAŽNIJI DIJELOVI MOBILNOG TELEFONA.....	2
2.1.1. Procesor (eng. central processing unit – CPU)	3
2.1.2. Matična ploča [4]	4
2.1.3. Zaslon osjetljiv na dodir.....	6
2.1.4. Baterija.....	8
3. KUĆIŠTE S OKVIROM	11
3.1. Polimerni materijali.....	12
3.2. Metalni materijali	14
3.2.1. Aluminijska kućišta	14
3.2.2. Okviri kućišta od austenitnog nehrđajućeg čelika [17].....	15
3.3. Stakleni materijali	16
3.3.1. Gorilla Glass	17
3.4. Ostali materijali.....	18
4. Eksperimentalni dio	19
4.1. Određivanje materijala okvira kućišta	19
4.1.1. Određivanje kemijskog sastava kućišta	22
4.1.2. Određivanje strukture pomoću Schaefflerovog strukturnog dijagrama [17]	24
4.1.3. Određivanje mikrotvrdoće	25
4.2. Ispitivanje metalnog kućišta.....	28
4.2.1. Određivanje kemijskog sastava metalnog kućišta i prevlake.....	29
4.3. Ispitivanje polimernih kućišta.....	34
4.3.1. Određivanje materijala.....	34
4.3.2. Ispitivanje gorivosti	36
4.3.3. Ispitivanje otpornosti na grebanje	38
5. Zaključak	43
LITERATURA.....	44
PRILOZI.....	46

POPIS SLIKA

Slika 1. Najvažniji dijelovi mobilnog telefona [1]	2
Slika 2. Procesor [2]	3
Slika 3. Matična ploča [5]	5
Slika 4. Zaslon osjetljiv na dodir [9]	7
Slika 5. Litij-ion baterija [13]	9
Slika 6. Litij-polimer baterija [15]	10
Slika 7. Polimerno, aluminijsko i stakleno kućište [23]	11
Slika 8. Polimerni materijali kućišta [18]	12
Slika 9. Kućište od polikarbonata (PC) [19]	13
Slika 10. Aluminijsko kućište mobilnog telefona HTC One M8 [20]	14
Slika 11. Okvir od austenitnog nehrđajućeg čelika [22]	15
Slika 12. Stakleno kućište [23]	16
Slika 13. Ispitivanje Gorilla Glass [25]	17
Slika 14. Izrezivanje uzoraka	19
Slika 15. Uliveni uzorak	20
Slika 16. Uređaj za brušenje uzoraka Buehler - Phoenix Alpha	20
Slika 17. Svjetlosni mikroskop Olympus GX51	21
Slika 18. Slika mikrostrukture uzorka	21
Slika 19. XRF uređaj	22
Slika 20. Schaefflerov strukturni dijagram	24
Slika 21. Tvrdomjer	25
Slika 22. Otisak tvrdomjera s označenim dijagonalama	26
Slika 23. Mikrostruktura (A+M)	27
Slika 24. Metalno kućište za ispitivanje	28
Slika 25. Pripremljeni i uliveni uzorak metalnog kućišta za daljnu analizu	28
Slika 26. Skenirajući elektronski mikroskop s energijskom disperzivnom spektrometrijom (SEM-EDS)	29
Slika 27. Osnovni materijal i prevlaka	30
Slika 28. SEM-EDS analiza osnovnog materijala	30
Slika 29. Vanjska prevlaka	31
Slika 30. Unutarnja prevlaka	33
Slika 31. Ispitni uzorci polimernih mobilnih kućišta	34
Slika 32. Izrezani uzorak polimernog kućišta	35
Slika 33. Ispitivanje gorivosti	36
Slika 34. Samogasivost	37
Slika 35. Uzorak nakon hlađenja	37
Slika 36. Vickersov penetrator	38
Slika 37. Korišteni uređaj za ispitivanje na grebanje	38
Slika 38. Ogrebotina na prvom uzorku	39
Slika 39. Ogrebotina na narančastom uzorku	40
Slika 40. Ogrebotina na trećem uzorku	41
Slika 41. Ogrebotina na četvrtom uzorku	41

POPIS TABLICA

Tablica 1. Kemijski sastav okvira	23
Tablica 2. Rezultati mjerenja mikrotvrdoće	26
Tablica 3. Kemijski sastav vanjske prevlake	32
Tablica 4. Kemijski sastav unutarnje prevlake.....	33

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
AISI	-	American Iron and Steel Institute
EN	-	Europska norma
HNO ₃	-	Dušična kiselina
Cr_e	-	Krom ekvivalent
Ni_e	-	Nikal ekvivalent
A	-	Austenit
F	-	Ferit
M	-	Martenzit
HV	-	Tvrdoća po Vickersu
F	N	Pritisna sila

SAŽETAK

Mobilno tržište raste iz dana u dan te samim time rastu zahtjevi za materijale dijelova mobilnog telefona. Dijelovi mobilnih telefona se proizvode iz različitih materijala, a najzastupljeniji su: aluminij, staklo, polikarbonati i nehrđajući čelici. Svaki materijal ima svoje prednosti i nedostatke, a najviše se uzimaju u obzir cijena i troškovi izrade. Zbog toga se mobilno tržište kristaliziralo kroz tri segmenta: viši segment, srednji segment i niži segment. Segmenti su posljedica platne moći kupaca, a samim time varira kvaliteta materijala korištenih kod izrade kao i kvaliteta izrade komponenata.

U ovom radu će se istražiti i opisati koji se materijali najčešće koriste za izradu glavnih dijelova mobilnih telefona te usporediti prednosti i nedostaci primjene pojedinih materijala, a prvenstveno će se u središtu pozornosti naći kućište i okvir mobilnog telefona jer su izloženi različitim uvjetima mehaničkog opterećenja i ostalim utjecajima.

Nakon toga će se provesti karakterizacija materijala nekih dijelova konkretnog mobilnog uređaja te na kraju analizirati dobiveni rezultati i identificirati materijali ispitivanih dijelova.

Ključne riječi: mobilni telefon, materijali, kućište, okvir mobilnog telefona, karakterizacija

SUMMARY

Market of mobile phones advances every day. Within grows demand for segment materials of mobile phone. Parts for mobile phone are produced out of several materials of which most common are: aluminium, glass, polycarbonate and stainless steel. Every material has its advantages and disadvantages of which most important are price and costs of production. That leads to division of mobile market in three segments: high segment, medium segment and low segment. Segments are result of customers payment power with leads to diversity of material quality used in production, and quality of components production.

In this master thesis will be searched and described most used materials for production of main parts of mobile phone, and will be compared advantages and disadvantages of using specific materials. In the first place will be mobile phone case and mobile phone frame for being exposed to various conditions of mechanical load and other influences.

After that will be characterization of some parts material of given mobile phones, analysis of acquired results and identification of given parts materials.

Key words: mobile phone, materials, case , mobile phone frame, characterization

1. UVOD

Mobilni telefoni su postali veoma bitni uređaji u svakodnevnom funkcioniranju ljudi. Svaki mobilni telefon se sastoji od različitih dijelova (procesor, matična ploča, baterija, zaslon, kućište itd.) koji čine funkcionalnu cijelinu.

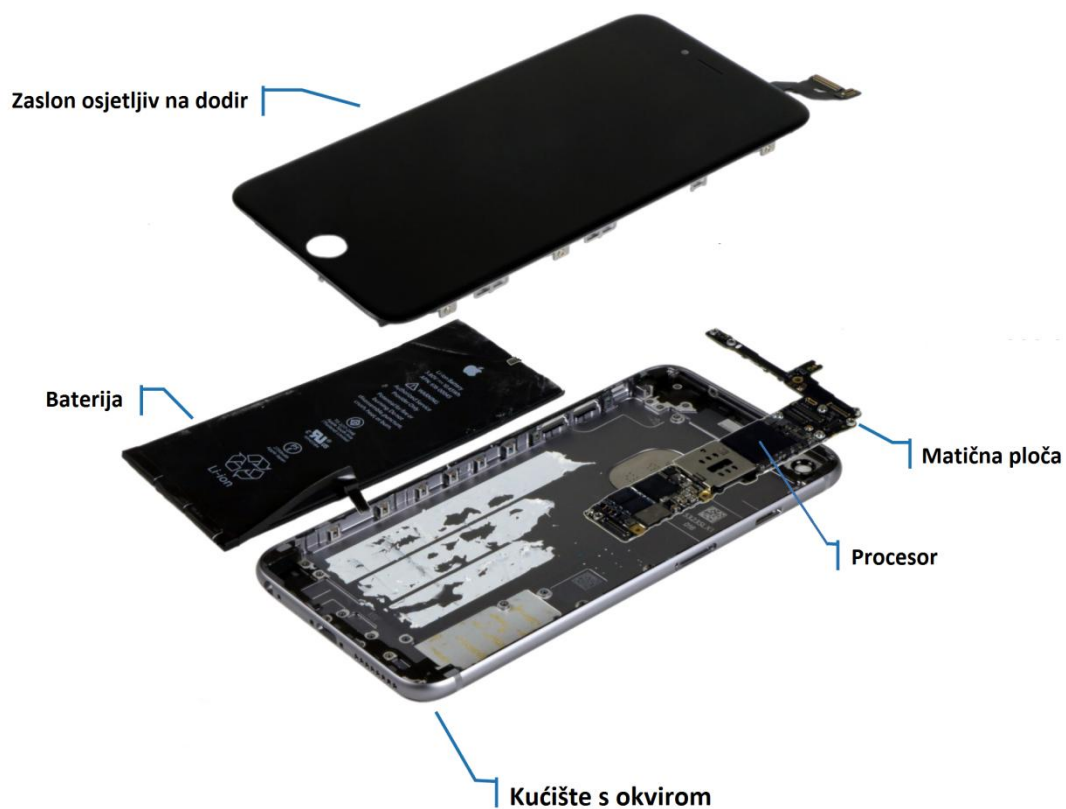
Mobilno tržište se razvija iz dana u dan te se u ponudi može naći veoma široka ponuda različitih mobilnih telefona. Jedan od najbitnijih faktora potražnje određenih mobilnih telefona je dizajn i materijal od kojih se mobilni telefoni izrađuju. U današnje vrijeme dominiraju materijali: aluminij, staklo, polikarbonati. Bilo je raznih pokušaja izrade mobilnih telefona iz drva i titanovih legura, ali ljudima to nije bilo previše praktično. Kod izbora materijala za mobilne telefone veoma su bitni faktori dopadljivog izgleda i kvalitete površine, ali i otpornost na različite utjecaje s kojima mobilni telefon dolazi u doticaj prilikom svakodnevnog korištenja.

Kućiće s okvirom je jedan od najvažnijih dijelova mobilnog telefona jer se u njega ugrađuju svi ostali dijelovi. Izrađuje se od nehrđajućih čelika, aluminijskih legura i različitih polimernih materijala.

2. NAJVAŽNIJI DIJELOVI MOBILNOG TELEFONA

Najvažniji dijelovi mobilnog telefona su:

- 1) Procesor
- 2) Matična ploča
- 3) Zaslون osjetljiv na dodir
- 4) Baterija
- 5) Kućište s okvirom



Slika 1. Najvažniji dijelovi mobilnog telefona [1]

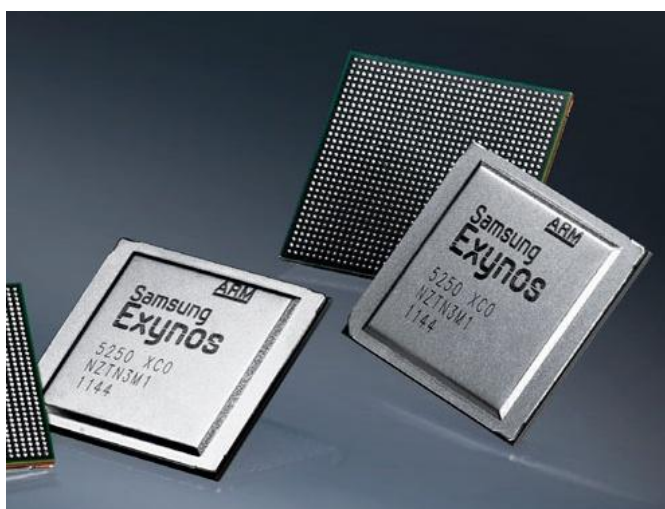
2.1.1. Procesor (eng. central processing unit – CPU)

Procesor je najvažniji dio svakog mobilnog telefona kao i stolnih računala. Procesor izvodi i analizira zadatke koje su mu zadane preko ulaznih jedinica (ekran na dodir, tipkovnica i sl.).

Zadaca mu je dohvaćanje podataka iz memorije nad kojima izvršava aritmetičke ili logičke operacije. Aritmetičke operacije predstavljaju zbrajanje i množenje bitova, dok su logičke operacije I, ILI i NE. Dakle sve što se odvija na mobilnom telefonu, odvija se preko procesora. Procesor povezuje sve komponente mobilnog telefona (matična ploča, trajna memorija, grafički čip) u jednu funkcionalnu cijelinu koja obavlja zadane funkcije [2].

Bitne karakteristike [3]:

1. Brzina rada ili radni takt - maksimalan broj operacija koje procesor može izvršiti u jednoj sekundi i trenutno se iskazuje u gigahertzima (GHz).
2. Dužina procesorske riječi - broj bitova koji se istovremeno prenosi i obrađuje u procesoru. Postoje 32 ili 64 bitni procesori.
3. Broj jezgri procesora – broj fizičkih jezgri koje procesor može koristiti tijekom funkcioniranja. Većina današnjih procesora ima dvije ili više jezgri.
4. Priručna memorija procesora (eng. Cache) - mala memorija koja služi za pohranu podataka koji se često koriste. Iznosi od 1 MB pa na više. Priručna memorija ubrzava rad procesora.



Slika 2. Procesor [2]

Većina mobilnih procesora koji se danas nalaze na tržištu izrađeni su prema originalnom dizajnu tvrtke ARM. ARM je 32-bitni mikroprocesor originalno dizajniran od tvrtke Acorn Computers, još davne 1987. godine. Od tada su brojne tvrtke implementirale ovo rješenje procesora u svoje uređaje uglavnom zbog jeftine licence, ali i niske potrošnje energije.

Tržištem procesora dominiraju četiri glavna igrača od kojih svaki nudi svoju implementaciju ARM arhitekture.

Prvi je američki Qualcomm koji već dugi niz godina predstavlja jako popularne Snapdragon procesore koji su svoje mjesto pronašli u brojnim uspješnim modelima mobilnih telefona.

Druga je NVIDIA, ipak najpoznatija po svojim grafičkim karticama na PC računalima, u smartphone svijet je ušla 2008. godine, no značajniji tržišni udio je preuzela 2010. godine predstavljanjem *Tegra 2* platforme.

Samsung dugi niz godina proizvodi svoje procesore, a svakako treba istaknuti i nedavno razvijeni model Exynos.

Osim ovih predstavnika ARM arhitekture, svakako trebamo istaknuti i najpoznatijeg proizvođača procesora za stolna računala – Intel [2].

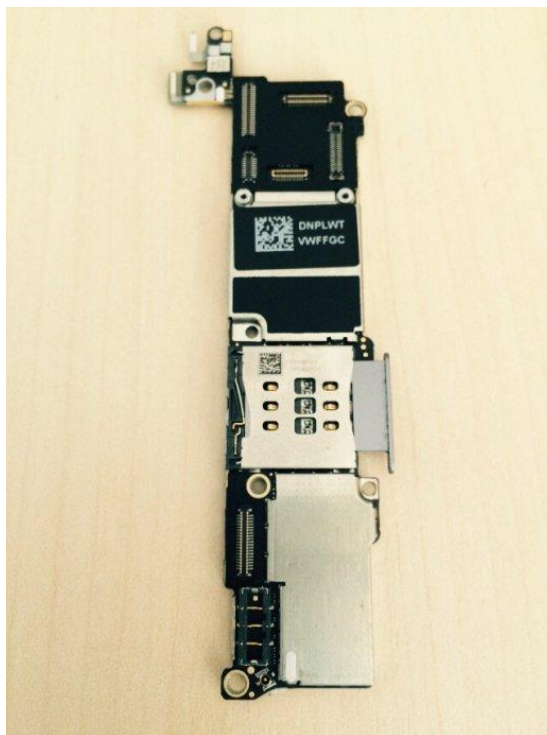
2.1.2. Matična ploča [4]

Matična ploča je osnovni dio svakog mobilnog telefona (eng. Motherboard) odnosno centralni dio na koju se ugrađuje (priključuje) svo sklopovlje (procesor, radna memorija, grafički procesor itd.). Ona električki povezuje komponente u funkcionalnu cijelinu. Najvažnija komponenta matične ploče je „chipset“, u koji spada FSB sabirnica (eng. Bus). Ona pruža sučelje koje omogućuje komuniciranje procesora sa „northbridgeom“ i onda s ostalim komponentama. „Northbridge“ je „chipset“, zatvoreni sklopovni krug koji omogućava komunikaciju radne memorije i grafičke kartice sa procesorom.

Najvažniji dijelovi matične ploče:

1. Utor za procesor (eng. CPU socket) - komponenta u koju se smješta procesor i omogućuje da procesor uopće komunicira s matičnom pločom.
2. BIOS (Basic Input/Output System) - komponenta koja je dizajnirana da se prva pokreće pri pokretanju mobilnog telefona te onda identificira, pokreće i testira ostale komponente (radnu memoriju, grafički čip i ostale komponente).

3. Utori za radnu memoriju (eng. Memory slots) - služe za spajanje radne memorije s matičnom pločom, kod mobilnih telefona je uobičajeno da je integrirana na matičnu ploču.
4. Senzori – za temperaturu, voltažu napajanja komponenata i sl.
5. Utori za dodatnu memoriju – utori koji služe za proširenje memorije mobilnog telefona ugradnjom dodatne memorijske kartice.



Slika 3. Matična ploča [5]

Matične ploče se najčešće izrađuju tiskanjem. Izrađuju se od izolacijskih materijala pertinaksa (laminat više slojeva papira i fenolne smole) i vitroplasta (kompozit epoksidne smole i staklenih vlakana) na kojima je nanesen tanki sloj bakra. Na strani bakra potrebno je ukloniti višak bakra tako da ostanu samo vodovi između elektroničkih elemenata. To se postiže struganjem glodalom ili otapanjem bakra kiselinom. U tu svrhu se koristi klorovodična kiselina pomiješana s vodikovim peroksidom.

Prije uranjanja moraju se zaštititi vodovi od nagrizanja. To se može učiniti vodootpornim flomasterom, postavljanjem samoljepljive folije s koje se ljepljivom trakom ukloni višak materijala ili nanošenjem tiskarske boje postupkom sitotiska. Serijska proizvodnja se izvodi na proizvodnim linijama uz visoki stupanj automatizacije [6].

2.1.3. Zaslon osjetljiv na dodir

Zaslon osjetljiv na dodir (eng. Touchscreen) je oblik senzora koji se rabi kao ulazni uređaj koji omogućuje unos prstom ili drugim predmetom na zaslonu. To omogućuje korisniku izravnu komunikaciju s grafičkim elementima na ekranu za razliku od drugih ulaznih uređaja (npr. miš) [7].

Tehnologije na kojima se temelje ekrani osjetljivi na dodir [8]:

1. Električni otpor - zaslone koncipirani na ovoj tehnologiji sastoje se od nekoliko slojeva. Pritom su najvažnija dva tanka metalna, električno provodljiva i otporna „layera“ međusobno odvojena tankim prostorom. U trenutku dodira dolazi do promjena u strujnom krugu što se registrira kao dodir te se potom ta informacija šalje kontroleru na procesiranje.
2. Površinski zvučni valovi (Surface Acoustic Wave - SAW) - koristi ultrazvučne valove koji prolaze preko „touchscreen“ panela. Kada je panel dotaknut dio valova se apsorbira. Promjena u ultrazvučnim valovima registrira poziciju dodira što u konačnici odašilje informacije kontroleru na procesiranje.
3. Kapacitativni - kapacitativni „touch“ panel, dakle onaj koji je u stanju zadržati električni naboj, kod ovog je tehnološkog principa prekriven slojem indij-kositar oksida koji osigurava kontinuirani električni naboj ugrađenih senzora. Isti reagiraju samo na dodir ljudskog tijela, dakle prsta. Naime, da bi mogli adekvatno prepoznati i registrirati dodir potreban im je kontakt s električnim nabojem. Zanimljivo je da kapacitativni zaslone podržavaju „Multitouch“. Jedni od primjera za „touchscreen“ zaslone ove vrste su Apple iPhone, iPod Touch, HTC i dr.
4. Tehnologija projiciranog kapaciteta - tip kapacitativne tehnologije koji uključuje odnos između XY zraka senzorskih sklopova, a koji se nalaze unutar dva glavna sloja i trećeg objekta. Treći objekt je uglavnom korisnik, odnosno njegov prst. U trenutku dodira, dodir se mjeri i prolazi do kontrolera koji je spojen na sustav za pokretanje

aplikacija. Sustav izračunava u kojem su odnosu dodir i ugrađene aplikacije.

Važno je spomenuti da ova tehnologija ne radi razliku u odazivu između dodira ljudskog tijela i olovčice .



Slika 4. Zaslون osjetljiv na dodir [9]

Za izradu zaslona mobilnih telefona, staklo je danas optimalan materijal. Današnje staklene membrane su općenito 0,2 – 0,3 mm debljine, dodaju im se akrilne smole da s lakoćom brišemo prljavštinu, dok za zaštitu od sitnih ogrebotina se obično koriste rješenja američkog proizvođača Corning Gorilla ili Dragontrail japanske tvrtke Asahi Glass [10].

2.1.4. Baterija

Baterija je elektrokemijski uređaj u kojem je pohranjena kemijska energija, koja se dalje pretvara u električnu energiju kako bi pokrenuli naš mobilni uređaj. Baterije spadaju u primarne izvore energije jer pretvaraju kemijsku energiju u električnu. Svaka baterija se sastoji od ćelija koje su međusobno povezane paralelno, serijski ili kombinirano. Paralelna veza predstavlja vezu istoimenih elektroda i daje isti napon kao jedna ćelija, ali jaču struju zbog smanjene unutrašnje otpornosti izvora. Serijska veza predstavlja vezu gde se katoda jedne povezuje na anodu druge ćelije što na kraju daje istu struju kao jedna ćelija, ali veći napon. Najveći broj baterija koje se koriste u praksi ima serijsku vezu [11].

U današnje vrijeme najviše se koriste dvije vrste baterija za mobilne telefone :

1. Litij-ionska baterija (Li-Ion) [12] - pripada skupini punjivih baterija. U ovoj vrsti baterija litijevi ioni se tijekom pražnjenja kreću od negativne elektrode ka pozitivnoj. Suprotan se proces zbiva tijekom punjenja baterije. Ova vrsta baterije služi se interkaliranim litijevim spojem kao jednom elektrodnom tvari, za razliku od metalnog litija koji se primjenjuje u nepunjivim litijevim baterijama. Stalne sastavnice litij-ionske ćelije su elektroliti koji dopuštaju kretanje iona te dvije elektrode. Konvencijska katoda je metalni oksid, anoda ugljik, a elektrolit litijeva sol u organskom otapalu.

Budući da je osnovna tvar vrlo lagani metal litij, sama baterija vrlo je lagana. Prednost ovakve vrste baterije je vrlo velika gustoća energije koja je skoro dvostruko veća od obične NiMH baterije. Sljedeća prednost je tripot veći nazivni napon od napona koji je u baterijama na bazi nikla (3,6 V prema 1,2V). Treća velika prednost u odnosu na niklove baterije je što je nije nužno održavati. Zbog toga nema potrebe za periodičnim pražnjenjem, a može se puniti u bilo kojem vremenu. Četvrta prednost litij-ionske baterije je dug životni vijek koji može biti od 500 do 1000 ciklusa punjenja. Također je velikog kapaciteta.

Nedostatak ove baterije je ta što je vrlo osjetljiva na prepunjavanje kao i na pretjerano pražnjenje. Taj je problem riješen elektroničkim putem, pa tako svaka komercijalna litij-ionska baterija ima elektroniku koja rješava taj problem umjesto korisnika. Drugi nedostatak litij-ionske baterije je što nije pogodna za pražnjenje jakom strujom. Usprkos tome, vrlo je prikladna za mobilne telefone. Treći nedostatak litij-ionske

baterije je što ona može stariti i kad se ne upotrebljava, i to znatno više nego kod niklovihi baterija. Četvrti nedostatak litij-ionskih baterija je što se u određenim okolnostima može pretjerano zagrijati, zbog čega može eksplodirati uz izazivanje požara.



Slika 5. Litij-ion baterija [13]

2. Litij-polimer baterija (Li-Poly) [14] - pripada skupini punjivih baterija na bazi litija. Spada u drugu generaciju takve vrste baterija. Tehnološki predstavlja generaciju baterija koje su naslijedile litij-ionsku bateriju. Osobine su joj uglavnom iste kao kod prethodnice: vrlo je lagana zbog litijevih elektroda, ima vrlo veliku gustoću energije koja je skoro dvostruko veća od obične NiMH baterije, te veći nazivni napon od napona koji je u baterijama na bazi nikla. Za razliku od niklovihi baterija nije ju nužno održavati, jer nije podložna nikakvim štetnim efektima. Zbog toga nema potrebe za periodičnim pražnjenjem, a može se puniti u bilo kojem vremenu. Tehnološki pomak je elektrolit. Čini ga polimer koji se može oblikovati u razne oblike, što sve prethodne generacije baterija nisu imale mogućnost. Budući da ove baterije mogu biti vrlo tanke, primjenjivost se odmah pokazala kod mobilnih telefonskih uređaja. Litij-polimer baterija ima dva nedostatka, osjetljivije su na niske temperature, a životni vijek im je kraći, otprilike koliko i kod baterija koje su dvije generacija unazad, nikal-metal-hibridnih baterija.



Slika 6. Litij-polimer baterija [15]

Povišena temperatura ima veliki utjecaj na obje vrste baterija. Baterijama najugodnija temperatura je 0 °C. I u tim uvjetima će baterija (ako je ne koristimo) gubiti oko 6% svog kapaciteta godišnje. No, povećanjem temperature će se i ovaj postotak povećati. Tako će na 25°C baterija gubiti 20% kapaciteta godišnje, a pri 40°C čak 35% svog kapaciteta. Baterije su konstruirane na način da im životni vijek traje od 3 do 5 godina. Naravno da će na kraju svog vijeka trajanja one imati puno manji kapacitet nego kada su bile nove, ali bi svejedno trebale i dalje uspješno napajati uređaj [16].

3. KUĆIŠTE S OKVIROM

Kućište je vrlo bitan dio mobilnog telefona jer su u njemu smještene sve glavne komponente koje su bitne za funkcioniranje mobilnog telefona (procesor, matična ploča, baterija i mnogi drugi dijelovi). Direktno je izloženo različitim vanjskim utjecajima i opterećenjima (niske i povišene temperature, različiti mehanizmi trošenja, udarci prilikom pada). Vrlo je bitno istaknuti da kućište ima veliki utjecaj u hlađenju komponenata koje se zagrijevaju u radu.

Danas, kada su modeli mobilnih telefona po specifikacijama i operativnim sustavom gotovo isti, dizajn postaje važan aspekt uređaja. Jedan od bitnih elemenata koji utječu na dizajn su materijali korišteni za izradu njihovih kućišta. Odabir krivog materijala može se negativno odraziti na dio korisničkog iskustva. Izbori materijala za većinu proizvođača svode se na: polimerne materijale, metal i staklo. U nešto manjoj količini se koriste: aramidna vlakna, ugljična vlakna, titanove legure, drvo i keramika [18].



Slika 7. Polimerno, aluminijsko i stakleno kućište [23]

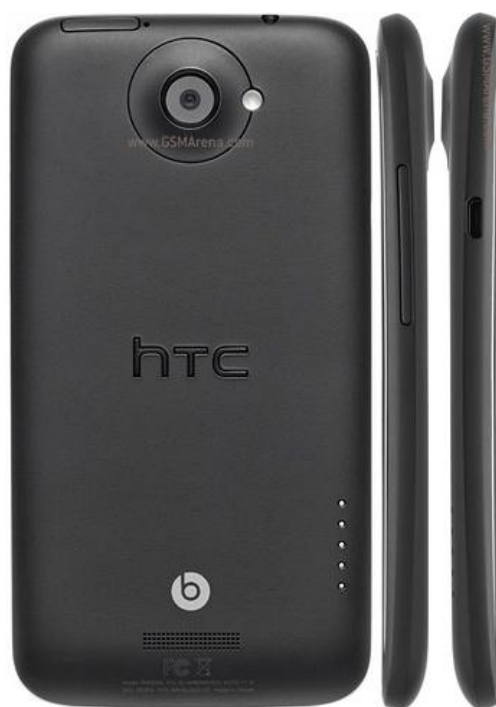
3.1. Polimerni materijali

Polimerni materijali su namijenjeni modelima nižeg ili nižeg srednjeg ranga. Modeli cjenovno višeg i najvišeg ranga najčešće koriste polikarbonat (PC) ojačan staklenim česticama (vlaknima), a u manjoj mjeri se koristi akrilnitril/butadien/stiren (ABS) ili mješavina PC+ABS. Polikarbonat je poliestar karbonske kiseline. Ovaj materijal odlikuju dobra mehanička svojstva u širokom rasponu temperatura od -40°C do $+135^{\circ}\text{C}$, dobra mu je postojanost oblika i velike je žilavosti. Najviše se koristi zbog izvanredne čvrstoće i žilavosti (otpornosti na udarce koja je jako bitna kod padova mobilnih telefona). Ima dobra elektroizolacijska svojstva i malo upijanje vode. Mnogi proizvođači također stavljaju premaze za sprječavanje ogrebotina ili degradaciju od UV izloženosti zračenju.

Polikarbonat ima svoje nedostatke. Slabo provodi toplinu što može dovesti do problema toplinske disipacije. Uslijed lošeg provođenja topline rad komponenti mobilnog telefona se usporava. To se posebno osjeti tijekom intenzivnog korištenja mobilnog telefona. Pošto je polikarbonat proziran i vrlo sjajne površine, dodaju mu se različiti aditivi za dobivanje različitih boja. Isključivo se svi dijelovi od polikarbonata proizvode injekcijskim prešanjem [17].



Slika 8. Polimerni materijali kućišta [18]



Slika 9. Kućište od polikarbonata (PC) [19]

Na slici 8. su prikazani različiti modeli mobilnih telefona koji su izrađeni od različitih polimernih materijala. Najčešće se koristi ABS ili PC+ABS. To su jeftiniji mobilni telefoni od kojih se ne očekuje velika estetska vrijednost kao ni odlična mehanička svojstva. Na slici 9. je prikaz mobilnih telefona u potpunosti izrađenih od polikarbonata koji ima daleko bolja svojstva od ABS-a. Takvi modeli spadaju u malo bolji segment, ali daleko od kvalitete metalnih i staklenih kućišta.

3.2. Metalni materijali

Tijela mobilnih telefona od metala također imaju svoje prednosti i mane. Najčešće se koriste kućišta od aluminijske legure i nehrđajućeg čelika.

3.2.1. Aluminijska kućišta

Aluminij je lagan metal. Takvo kućište odlično štiti unutarnje komponente. Nema nepotrebnog savijanja materijala. Cjenovno aluminij osim što je skuplji od polimernih materijala, potrebno je više vremena za njegovu obradu. Na primjer: svako kućište za HTC One M8 se izrađuje 30 minuta. HTC One M8 je u potpunosti izrađen od aluminijske legure.



Slika 10. Aluminijsko kućište mobilnog telefona HTC One M8 [20]

Još jedna ključna prednost je puno veća toplinska vodljivost aluminijske legure što omogućuje bolje performanse u radu jer je kućište samo po sebi pasivni dio hlađenja.

Nedostaci: Na niskim temperaturama uređaj u ruci će se osjećati puno hladniji nego da je izrađen od polimera. Prilikom pada na tvrdi površinu mogu nastati trajna udubljenja. Što se tiče ogrebotina, postoji malo veća osjetljivost u odnosu na plastiku, ali treba imati na umu da tehnologija napreduje. Današnji uređaji koje odlikuje metalno tijelo su otporniji na ogrebotine u odnosu na modele prije pet godina.

No uređaji od aluminija također mogu imati problema s antenama, ne zbog savijanja već s prijemom signala što ovisi o tome jesu li antene vanjske ili unutarnje, i naravno o jačini frekvencije [18].

3.2.2. Okviri kućišta od austenitnog nehrđajućeg čelika [17]

Od austenitnih nehrđajućih čelika se ne izrađuje cijelo kućište nego samo okvir koji povezuje prednji dio (ekran osjetljiv na dodir) i stražnji dio (poklopac). Najčešće se koristi austenitni čelik sniženog masenog udjela ugljika (ELC).

Neke od najčešće korištenih vrsta su: X2CrNi18-9 (304 L prema AISI), X2CrNiMo18-10 (316 L prema AISI).

Austenitni nehrđajući čelici imaju dobru oblikovljivost (vrlo bitno ako se traže komplicirani okviri), otporni su na koroziju i imaju izvrsna uporabna svojstva na sniženim i povišenim temperaturama.



Slika 11. Okvir od austenitnog nehrđajućeg čelika [22]

3.3. Stakleni materijali

Staklo kao materijal na obje strane „smartphona“ s okvirom od tankog međusloja aluminijskog, nehrđajućeg čelika ili polimernih materijala između bridova, izgleda vrlo atraktivno. Treći je materijal po učestalosti korištenja za izradu kućišta mobilnih telefona. To je staklo kemijski poboljšano kalijem za povećanje čvrstoće. Staklo je krhko i osjetljivo na drobljenje, ali nije na manje ogrebotine. Obično se koristi tzv. Gorilla Glass ili Asahi Glass Dragontrail kao rješenje za zaštitu. Toplinska vodljivost stakla je između toplinske vodljivosti polimernih materijala i metala. Preciznije: vodljivo je malo više od polikarbonata, ali daleko manje od aluminijskog. Prednost je što se mogu bez problema koristiti unutarnje antene [18].



Slika 12. Stakleno kućište [23]

3.3.1. Gorilla Glass

Gorilla Glass je proizvod Američke kompanije pod imenom Corning Inc. Koristi se gotovo kod svih vrsta i modela mobilnih telefona.

Gorilla Glass se izrađuje iz tri glavna sastojka: pijeska, natrijevog karbonata i vapnenca. Osim njih dodaju se različite kemikalije prije samog procesa taljenja zbog kojih je konačni proizvod staklo koje sadrži aluminij, kisik i silicij.

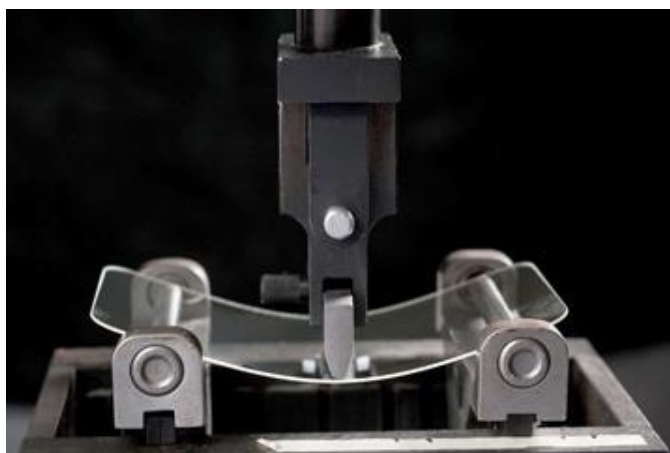
Nakon taljenja staklo se u tekućem obliku ulijeva u kalupe i laserski izrezuje u željene oblike. Rezultat je staklo tanko 0,5 mm. Ovakvo staklo je i dalje jako krhko.

Tako izrezano staklo se uranja u talinu litijevih soli koje izaziva jaku reakciju koja stvara zaštitni sloj na staklu čime mu daje bolje karakteristike od običnog stakla [24].

Gorilla Glass je u usporedbi s običnim staklom [25] :

1. Tvrđe
2. Tanje
3. Lakše
4. Otporno na grebanje
5. Djelomično otporno na udarce

Tvrdoća Gorilla Glass stakla se uspoređuje s tvrdoćom safira, koja je 9 na Mohsovoj ljestvici tvrdoće, dok je obično staklo bliže broju 7 na ljestvici. Povećana tvrdoća znači da je manja vjerojatnost grebanja uređaja tokom svakodnevne uporabe ili u kontaktu s drugim objektima poput ključeva u džepu ili torbici. Također, iako se ne može garantirati 100% zaštita, Gorilla Glass pruža i bolju zaštitu od pucanja/lomljenja prilikom pada.



Slika 13. Ispitivanje Gorilla Glass [25]

3.4. Ostali materijali

Aramidna vlakna su vrsta jako otpornog sintetičkog vlakna. Oko pet puta je čvršći od metala. Ima visoku gustoću, malu masu i dobro podnosi visoke temperature do 450°C. Može se zapaliti, ali za razliku od većine polimernih materijala se ne topi i gori samo dok se ne ukloni izvor topline. Niske temperature nemaju nikakav utjecaj na njega. Koristio se kod malog broja mobilnih telefona.

Titan se koristi veoma rijetko u proizvodnji kućišta mobilnih telefona. Jako malo modela mobilnih telefona je bilo izrađeno od titana. Takvi modeli su bili više modni dodaci nego su imali logično objašnjenje.

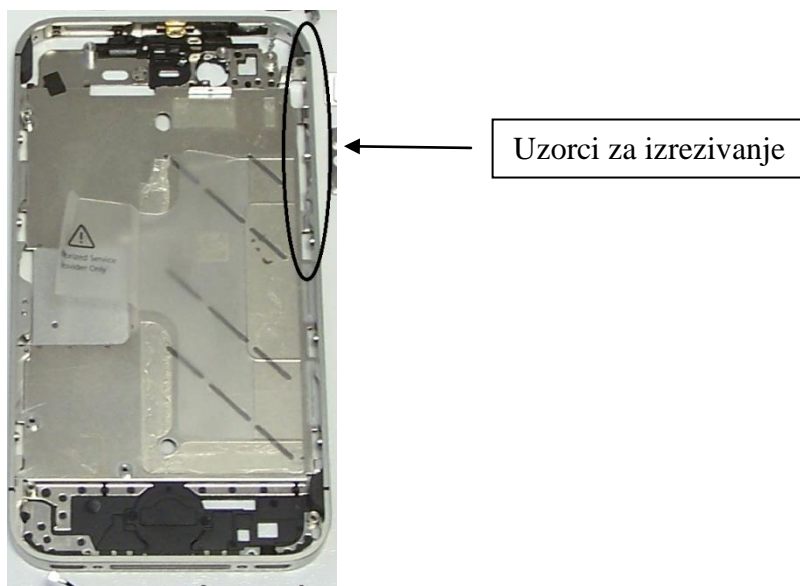
Drvo kao materijal je jako malo zastupljeno. Na tržištu nema niti jednog mobilnog telefona koji je u cijelosti izrađen od neke vrste drva. Razlog ne korištenja drva leži u njegovim lošim svojstvima poput neotpornosti na trošenje i podložnosti insektima i bakterijama. Zato se drvo koristi više kao egzotični materijal i od njega se izrađuju samo stražnji poklopci [26].

4. Eksperimentalni dio

Cilj eksperimentalnog rada je odrediti materijal okvira kućišta i analizirati mikrostrukturu. Mobilni telefon je bio korišten u privatne svrhe. Također će se odrediti materijal konkretnog kućišta, provesti metalografska analiza te ispitivanje na trošenje i gorenje. Ispitivanja su provedena na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu na Zavodu za materijale u Laboratoriju za materijalografiju.

4.1. Određivanje materijala okvira kućišta

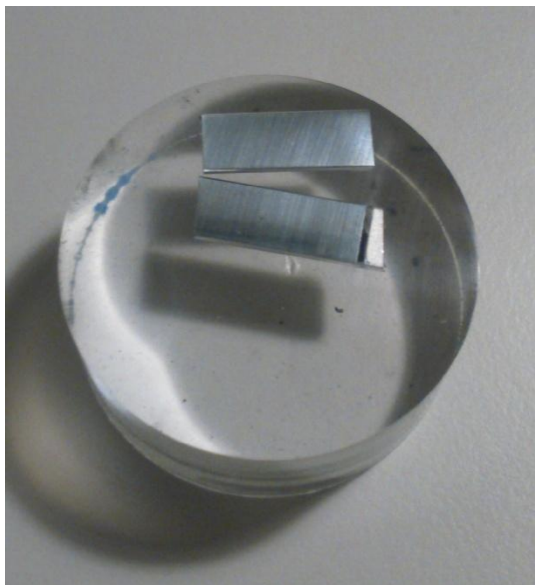
Zadatak ovog postupka je određivanje materijala od kojeg je izrađeni okvir. Okvir je bio spojen s kućištem u jedan dio. Kako bi mogli dalje ispitivati, morao se pripremiti uzorak. Priprema uzoraka sastoji se od više koraka. Da bi se uzorak dobro pripremio za analizu, mora se prvo izrezati od strojnog dijela koji analiziramo.



Slika 14. Izrezivanje uzoraka

Na slici 14. je prikazan cijeli mobilni okvir iz kojeg će se izrezati označeni uzorak za daljnu analizu.

Sljedeći korak u pripremi je ulijevanje materijala u polimernu smjesu čija tvrdoća mora biti približna kao i tvrdoća uzorka (zbog jednolike obrade).



Slika 15. Uliveni uzorak

Nakon ulijevanja slijedi obrada uzorka brušenjem, na stroju (Slika 15.) .



Slika 16. Uređaj za brušenje uzoraka Buehler - Phoenix Alpha

Kad je uzorak izbrušen kako treba, slijedi poliranje, kojim dovodimo uzorak do zrcalnog sjaja.

Nakon toga se uzorak nagriza kemijskim putem u nitalu (3% HNO_3 + alkohol) kako bi se vidjela zrna i granice zrna u uzorku. Nakon nagrivanja se uzorak gleda svjetlosnim mikroskopom kako bi vidjeli zrna i granice zrna.



Slika 17. Svjetlosni mikroskop Olympus GX51

Svjetlosnim mikroskopom se pomoću stolnog računala snima površina uzorka kako bi se moglo dalje istraživati.



Slika 18. Slika mikrostrukture uzorka

Na slici 18. se jasno vide zrna i granice zrna ispitivanog materijala okvira kućišta. Svijetla područja su austenit (A), a tamnija su martenzit (M). Također se iz ove slike može vidjeti da je čelik u gnječenom stanju.

4.1.1. Određivanje kemijskog sastava kućišta

Za određivanje kemijskog sastava se koristio XRF uređaj tvrtke Innov-X na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Kemijski sastav se odredi za 10 sekundi. XRF uređaj određuje kemijski sastav uzorka mjereći spektar karakterističnih rendgenskih zraka emitiranih od različitih elemenata u uzorku kada je osvijetljen s rendgenskim zrakama. Nakon određivanja kemijskog sastava, uređaj provjerava u bazi podataka da li se rezultati poklapaju s nekim standardnim materijalom. U ovom slučaju se materijal po kemijskom sastavu poklapao s materijalom oznake prema američkoj normi, AISI 304 L. Normirana vrsta ovog čelika prema Europskoj normi (EN) je X2CrNi18-9.



Slika 19. XRF uređaj

Određeni kemijski sastav prikazan je u tablici 1. :

Tablica 1. Kemijski sastav okvira

Kemijski element	Udio (%)
Si	0,61
V	0,15
Cr	18,02
Mn	0,81
Fe	71,47
Co	0,47
Ni	8,09
Cu	0,25
Mo	0,164
W	0,1

Prema kemijskom sastavu iz tablice 1. se može zaključiti da je ovo austenitni nehrđajući čelik sniženog masenog udjela ugljika (eng. ELC – Extra Low Carbon). Sniženim udjelom ugljika (<0,03%) se povećava otpornost na pojavu interkristalne korozije, ali se snizuje čvrstoća. Ovaj čelik odlikuju svojstva zavarljivosti i oblikovljivosti (posebno bitno kod različitih oblika i dimenzija okvira mobilnih telefona) [17].

4.1.2. Određivanje strukture pomoću Schaefflerovog strukturnog dijagrama [17]

Schaefflerov dijagram služi da bi se na temelju kemijskog sastava mogla predvidjeti mikrostruktura korozijski postojanih čelika za gašeno stanje. Na x-osi se nalazi krom ekvivalent (Cr_e), a na y-osi se nalazi nikal ekvivalent (Ni_e). Određivanje parametara pomoću tablice Tablica 1.

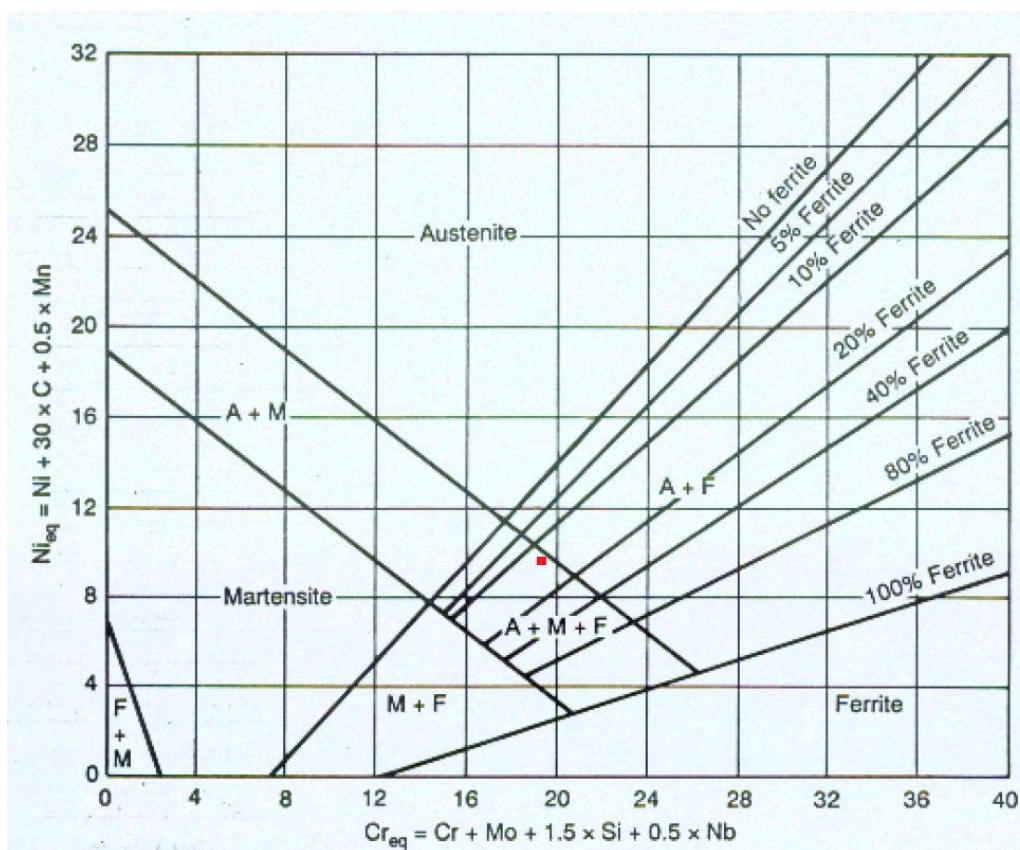
$$Cr_e = \%Cr + 2 * (\%Si) + 1,5 * (\%Mo) + 0,5 * (\%V + \%Nb + \%Ti) + 1 * (\%Al)$$

$$Cr_e = 18,02 + 2 * (0,61) + 1,5 * (0,164) + 0,5 * (0,15) = 19,561$$

$$Ni_e = \%Ni + 30 * (\%C) + 0,5 * (\%Mn) + 0,6 * (\%Cu) + 20 * (\%N) + 0,5 * (\%Co)$$

$$Ni_e = 8,09 + 30 * (0,02) + 0,5 * (0,81) + 0,6 * (0,25) + 0,5 * (0,47) = 9,78$$

Nakon što su se odredili Cr_e i Ni_e , prikazat će se u Schaefflerovom strukturnom dijagramu područje u koje pripada ispitivani materijal.



Slika 20. Schaefflerov strukturni dijagram

Crvenim kvadratićem je na slici 20. određeno područje u koje ispitivani materijal upada.

To je područje u kojem se mikrostruktura materijala sastoji od austenima (A), ferita (F) i martenzita (M).

4.1.3. Određivanje mikrotvrdoće

Mjerenje mikrotvrdoće dijelova okvira mobilnog telefona je provedeno Vickersovom metodom (HV), tvrdomjerom prikazanom na slici Slika 20. u Laboratoriju za metalografiju na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Tvrdoća se mjerila na različitim mjestima uzoraka. Ukupno je provedeno 10 mjerenja metodom HV 0,2 jer je korišteno opterećenje od 200 grama.



Slika 21. Tvrdomjer

Vickers metoda se računa prema jednadžbi:

$$HV = \frac{0.189 F}{d_{HV}^2}$$

gdje je:

F - pritisna sila koja se koristi [N] i

d_{HV}^2 - srednja vrijednost udaljenosti suprotnih vrhova otiska [mm], a računa se kao:

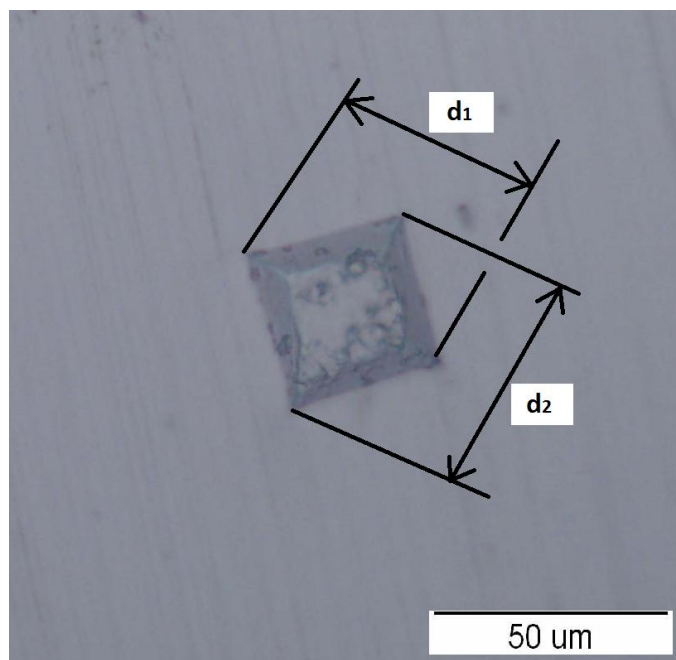
$$d_{HV} = \frac{d_1 + d_2}{2} \text{ [mm]}$$

gdje su:

d_1 - udaljenost između jednih suprotnih vrhova romba (duljina dijagonale) i

d_2 - udaljenost između drugih suprotnih vrhova romba (duljina dijagonale).

Slika otiska prikazana je na slici 22. te su označene dijagonale d_1 i d_2 .



Slika 22. Otisak tvrdomjera s označenim dijagonalama

Rezultati mjerenja su prikazani u tablici 2.:

Tablica 2. Rezultati mjerenja mikrotvrdoće

Broj mjerenja	HV 0.2	Srednja vrijednost
1	428	416
2	432	
3	399	
4	450	
5	376	
6	399	
7	383	
8	399	
9	450	
10	444	

Vrijednosti mikrotvrdoće je relativno visokog iznosa što nije uobičajeno za austenitni nehrđajući čelik kojem je vrijednost tvrdoće oko 200 HV.



Slika 23. Mikrostruktura (A+M)

Razlog povišene tvrdoće je martenzit u mikrostrukturi koja je prikazana na slici 23.

4.2. Ispitivanje metalnog kućišta

Metalno kućište je bilo korišteno u svakodnevnim uvjetima rada korištenja mobilnog telefona. Na slici 24. su jasno vidljivi tragovi korištenja. Izrezat će se uzorak koji će se potom analizirati u laboratoriju. Priprema uzorka je ista kao i ona opisana u poglavlju 4.1.



Slika 24. Metalno kućište za ispitivanje

Nakon pripreme uzorka koji je prikazan na slici 25. slijedi daljna analiza kemijskog sastava kućišta i prevlake.



Slika 25. Pripremljeni i uliveni uzorak metalnog kućišta za daljnu analizu

4.2.1. Određivanje kemijskog sastava metalnog kućišta i prevlake

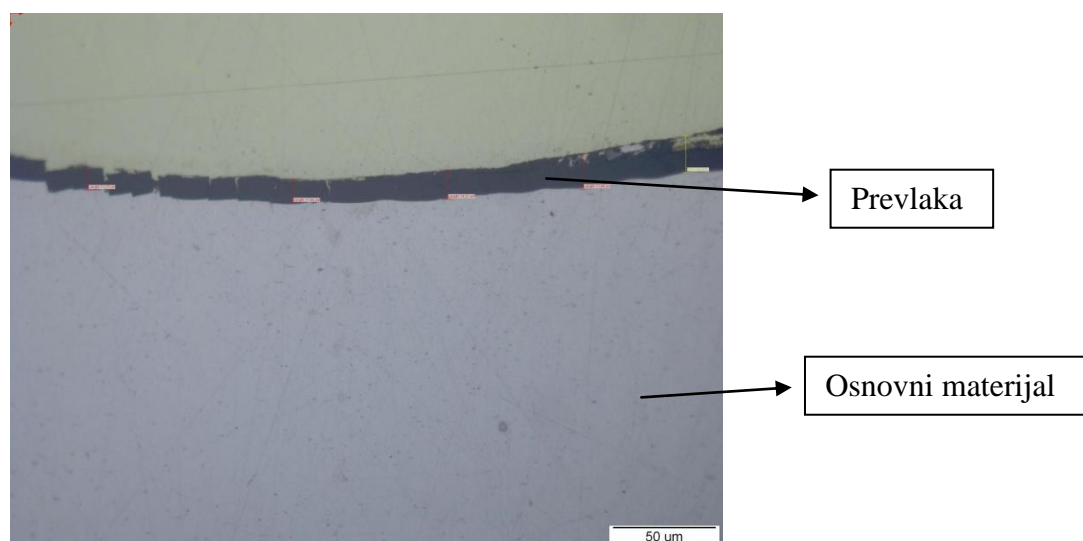
Za određivanje kemijskog sastava kućišta i prevlake se koristio skenirajući elektronski mikroskop s energijskom disperzivnom spektroskopijom (SEM-EDS).



Slika 26. Skenirajući elektronski mikroskop s energijskom disperzivnom spektrometrijom (SEM-EDS)

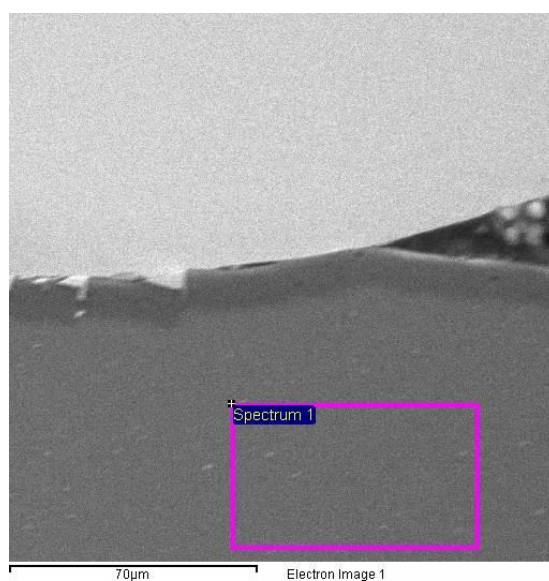
Korištenje skenirajućeg elektronskog mikroskopa s energijskom disperzivnom spektroskopijom (SEM-EDS) je mikroskopska tehnika gdje snop elektrona skenira po uzorku i izaziva niz reakcija s atomima na površini koju skenira. Detektori postavljeni u komori mikroskopa hvataju te elektrone i formiraju sliku na ekranu.

Kemijski sastav se određuje mjerenjem energije rendgenskih zraka koje su se odbile od površine i to pomoću EDS (eng. Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektora. Svaki kemijski element ima različitu vrijednost energije rendgenskih zraka [27].



Slika 27. Osnovni materijal i prevlaka

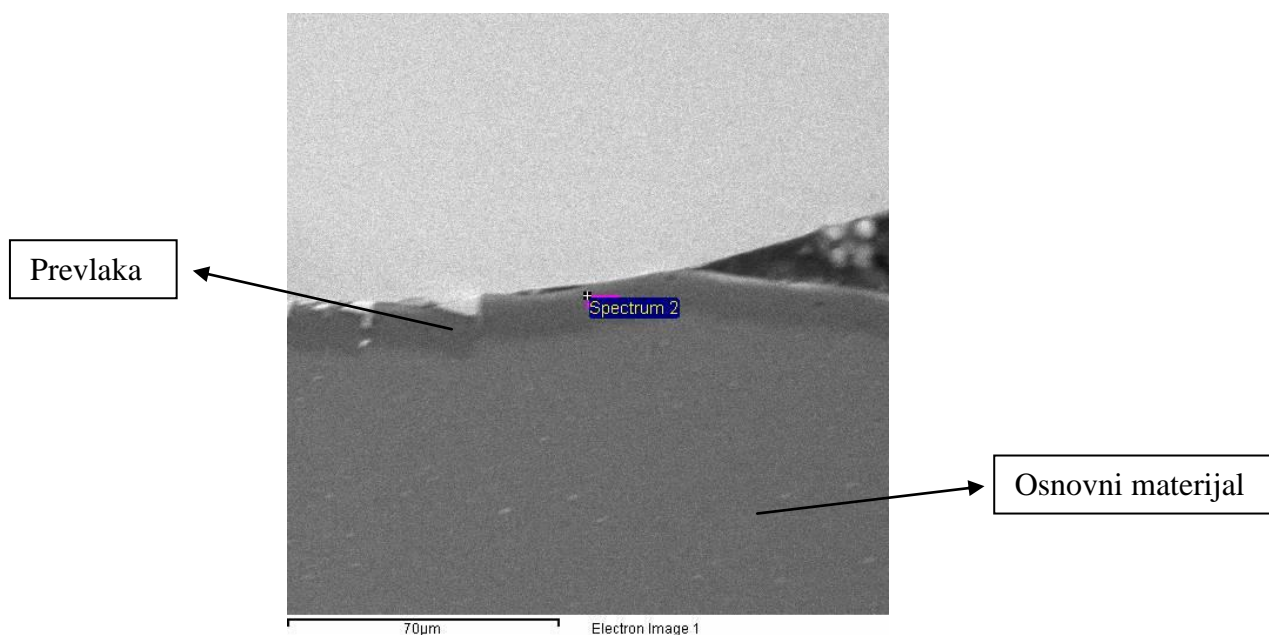
Na slici 27. je prikazan osnovni materijal metalnog kućišta i prevlaka. Prevlaka je prosječne debljine od 10 μm. SEM-EDS analizom je određeni osnovni materijal. Osnovni materijal je aluminij (100% Al).



Slika 28. SEM-EDS analiza osnovnog materijala

Na osnovni materijal su nanesene prevlake s vanjske strane, koja je direktno izložena eksploatacijskim uvjetima rada te s unutarnje strane koja nije izložena eksploatacijskim uvjetima. Na SEM-EDS je određen kemijski sastav obje prevlake. Dobiveni su sljedeći rezultati:

1. Vanjska prevlaka



Slika 29. Vanjska prevlaka

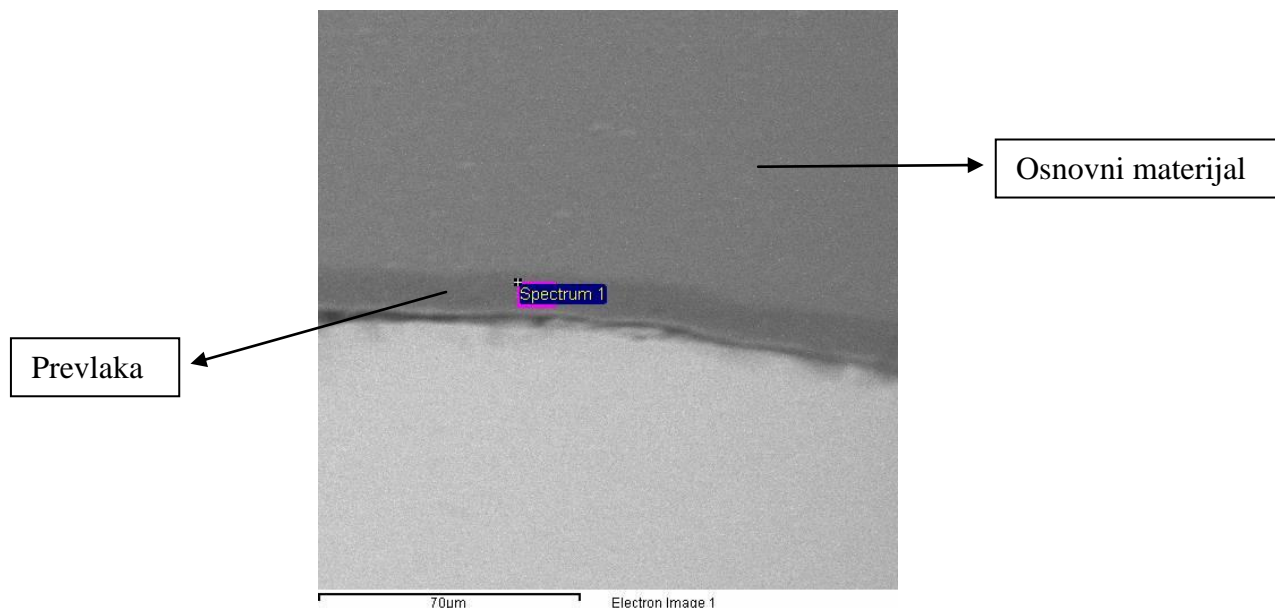
Prisutna su velika odstupanja i rasipanja kemijskih elemenata s obzirom na mjesta ispitivanja. Analiza je provedena na pet različitih mjesta. Dobiveni su sljedeći podaci prikazani u tablici 3.:

Tablica 3. Kemijski sastav vanjske prevlake

Kemijski element	Raspon udjela, (%)
C	8,36-45,96
O	29,94-48,29
Al	12,17-32,74
S	0,81-3,63
Cl	0,4-3,06
K	0-0,61
Ca	0-1,37
Cu	3,22-26,38
Zn	0,55-13,89

Prisutna su velika odstupanja jer debljina prevlake nije konstanta zbog toga jer se tijekom korištenja oštetila. Također je bila u doticaju s različitim predmetima i tekućinama pa se zbog toga u kemijskom sastavu detektiraju kemijski elementi kalija, klora, kalcija i sumpora.

2. Unutaranja prevlaka



Slika 30. Unutarnja prevlaka

Kod unutarnje prevlake su također prisutna odstupanja kemijskih elemenata. Analiza je također provedena na pet različitih mjesta. Dobiveni podaci su prikazani u tablici 4.

Tablica 4. Kemijski sastav unutarnje prevlake

Kemijski element	Raspon udjela, (%)
C	5,24-7,13
O	41,84-53,35
Al	34,70-49,88
S	3,04-4,82

Nema velikih odstupanja u kemijskom sastavu jer unutrašnja strana prevlake nije bila izložena istim uvjetima korištenja kao i vanjska prevlaka.

4.3. Ispitivanje polimernih kućišta

Provest će se ispitivanje različitih vrsta polimernih kućišta mobilnih telefona. Kućišta su bila potpuno nova i nikad korištena te će se zbog toga ispitati na način kao da su svakodnevno korišteni u normalnim uvjetima rada.



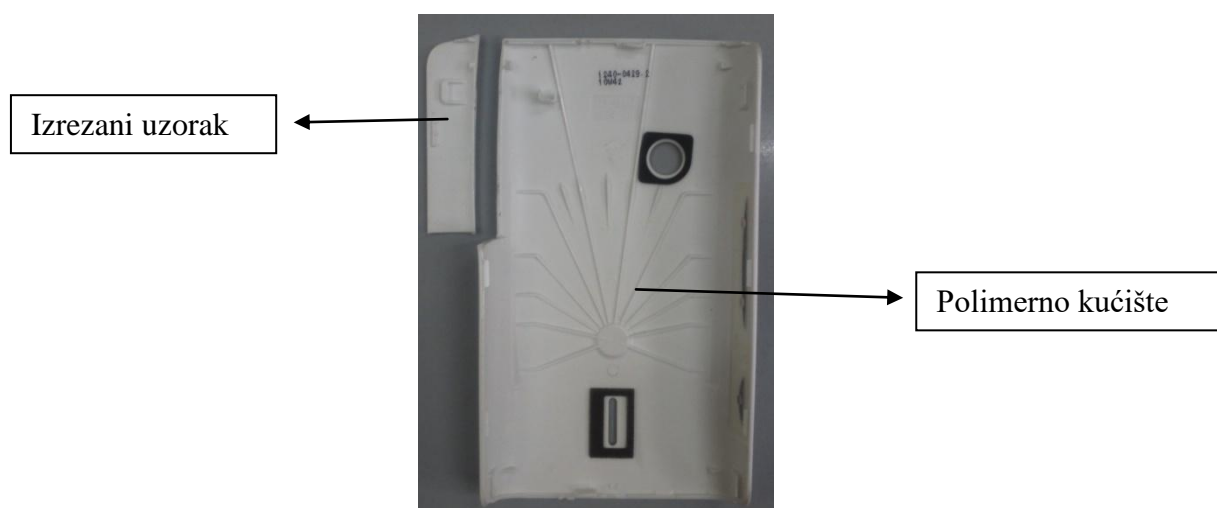
Slika 31. Ispitni uzorci polimernih mobilnih kućišta

4.3.1. Određivanje materijala

Ispitne uzorke smo podvrgnuli testu gorenja kako bi se pomoću mirisa koji nastaje mogli usporediti sa standardnim polimerima. Također se odredila gustoća i masa kako bi se odredila vrsta polimera prema gustoći.

Uzorak se najprije izrezao iz kućišta. Nakon toga su se odredile dimenzije uzorka. Izmjerene su vrijednosti:

- Duljina (l) je iznosila 4,054 cm
- Širina (d) je iznosila 1,01 cm
- Debljina (h) je iznosila 0,11 cm
- Masa (m) je iznosila 0,52 grama



Slika 32. Izrezani uzorak polimernog kućišta

Volumen se računa prema formuli :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

gdje su:

ρ – gustoća u $\frac{g}{cm^3}$

m – masa uzorka u gramima

V – volumen uzorka u cm^3 koji se računa formulom :

$$V = l * d * h$$

gdje su:

l – duljina uzorka u cm

d – širina uzorka u cm

h – debljina uzorka u cm

Uvrštavanjem vrijednosti u formulu dobije se:

$$V = 4,045 * 1,01 * 0,11 = 0,45 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{0,54}{0,45} = 1,2 \frac{g}{cm^3}$$

Prema izračunatoj gustoći se može zaključiti da ispitivani materijal pripada skupini polikarbonata (PC) jer se njihova gustoća kreće u granicama od $1,18 - 1,24 \frac{g}{cm^3}$.

4.3.2. Ispitivanje gorivosti

Izrezani uzorak će se podvrgnuti testu gorivosti kako bi ispitali gorivost i samogasivost uzorka. Izvor topline će biti plinski plamenik koji razvija temperaturu oko 200 °C.



Slika 33. Ispitivanje gorivosti

Uzorak se relativno lako zapalio. Gorio je jedino kad je bio izložen izvoru topline te se tijekom gorenja pougljenjavao, a kada se maknuo iz izvora topline odmah se ugasio kao što je prikazano na slici 33. Iz toga se može zaključiti da ima veliku samogasivost. Tijekom izgaranja se oslobađao miris po fenolu.



Slika 34. Samogasivost

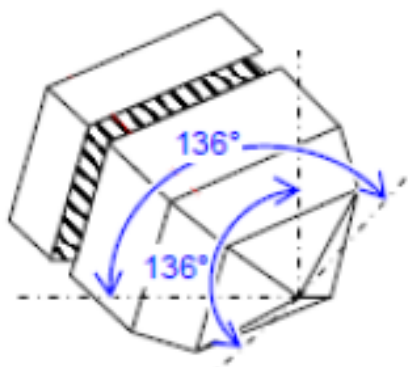


Slika 35. Uzorak nakon hlađenja

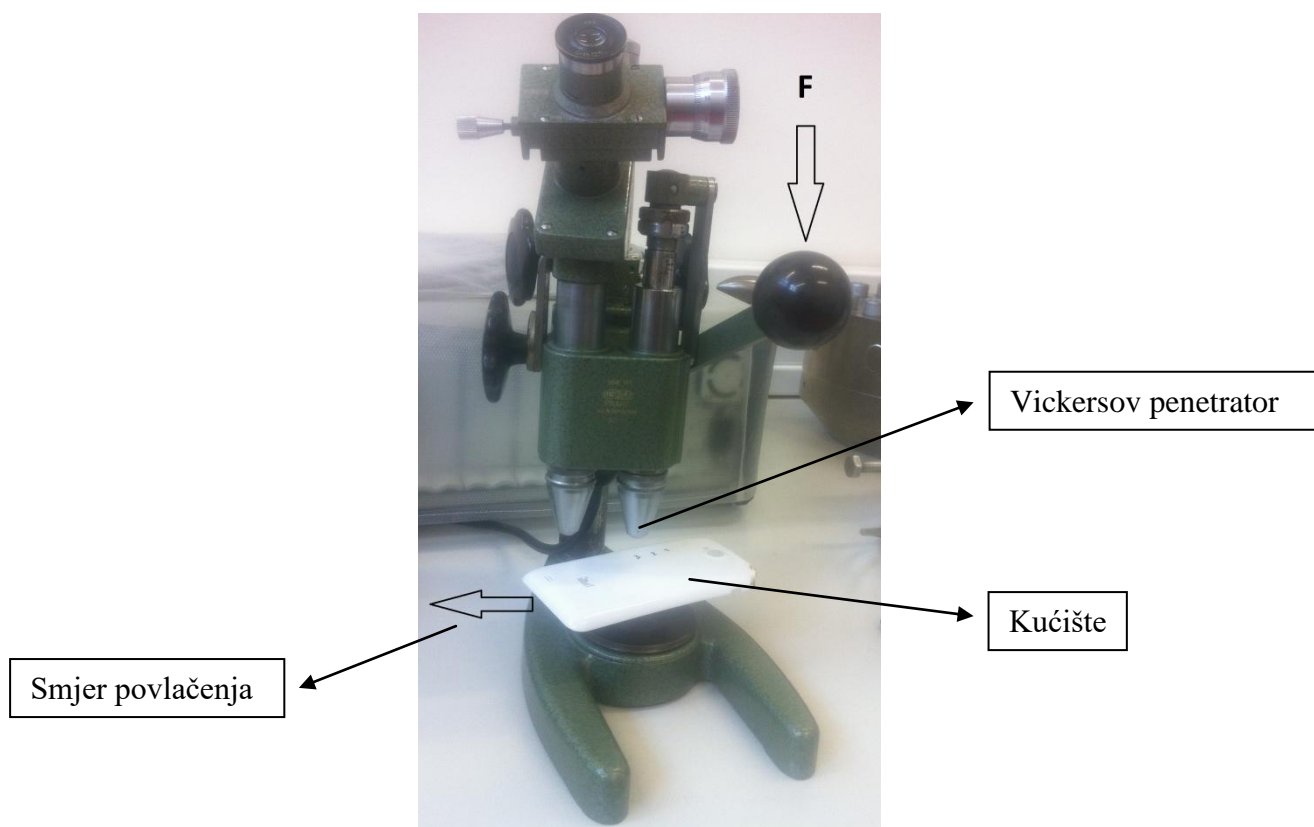
Na slici 35. je prikazan uzorak koji je bio podvrgnut testu gorenja nakon hlađenja na sobnu temperaturu. Sa slike se može jasno vidjeti kako se površina jako deformirala i kako je na površini nastao sloj pougljenja.

4.3.3. Ispitivanje otpornosti na grebanje

Provest će se ispitivanje na grebanje pomoću Vickersova penetratora. Vickersov penetrator je dijamantna istostrana četverostrana piramida, s kutom od 136° između stranica, prikazana na slici 36.



Slika 36. Vickersov penetrator

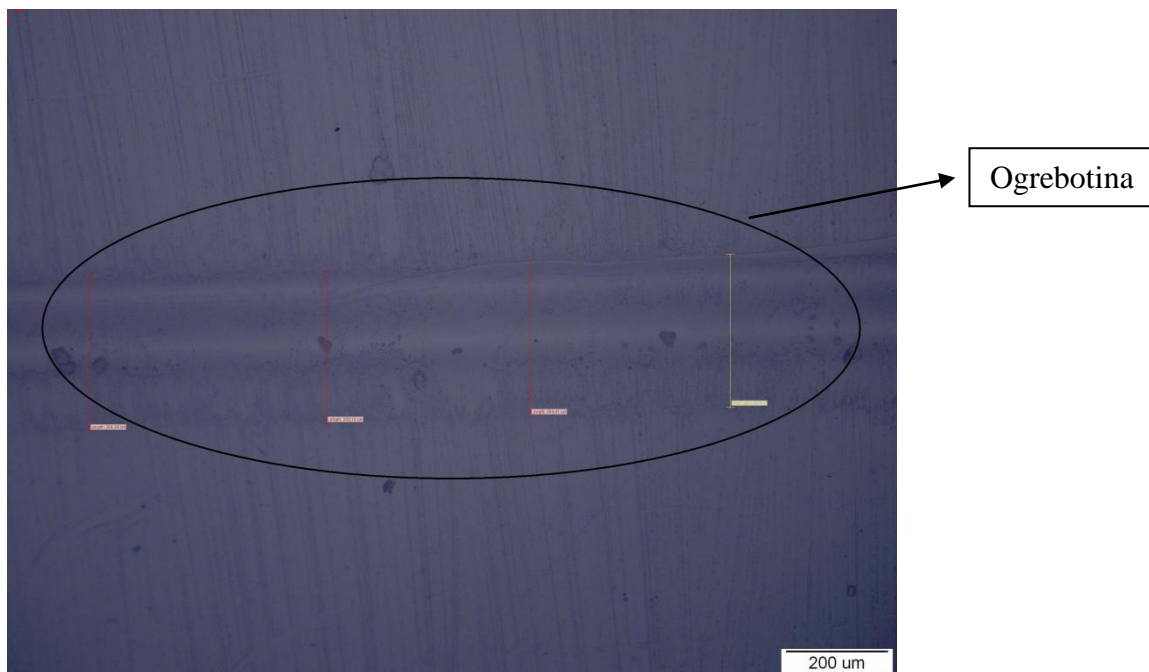


Slika 37. Korišteni uređaj za ispitivanje na grebanje

Ispitivanje je provedeno na uređaju sa slike 33. Koristila se sila (F) od 5 N . Pritiskom na ručicu uređaja penetrator je došao u kontakt s površinom. Nakon toga se uzorak lagano rukom povlačio u smjeru označenom na slici 37. kako bi se dobila ogrebotina. Ogrebotine su duljine oko 3 mm. Na takav način su se ispitali svi uzorci.

Dobiveni su sljedeći rezultati:

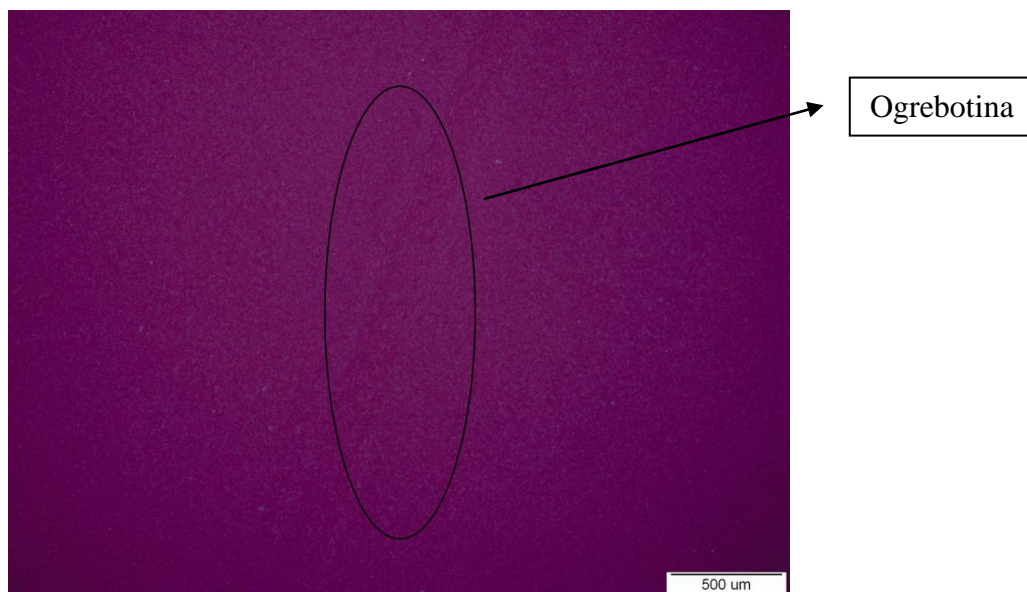
1. Prvi uzorak označen brojem 1 na slici 31.



Slika 38. Ogrebotina na prvom uzorku

Na slici 38. su vidljivi tragovi ogrebotine nastale ispitivanjem na polimernom uzorku (PC+ABS). Površina je potpuno glatka te se na njoj nalazi neki zaštitni prozirni sloj. Ogrebotina je prosječne širine 0,3 mm.

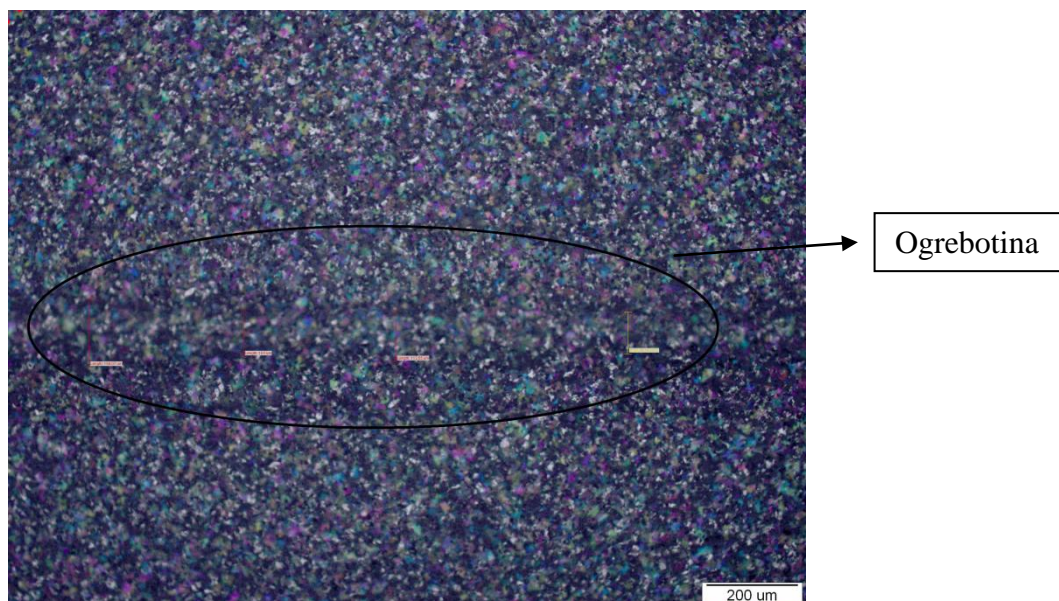
2. Drugi uzorak označen brojem 2 na slici 31.



Slika 39. Ogrobotina na narančastom uzorku

Na slici 39. je prikazana ogrobotina nastala ispitivanjem polimernog uzorka (PC+ABS), ali gdje je površina obrađena na drugi način nego kod prvog uzorka. Površina je puno veće hrapavosti nego kod prvog uzorka i na dodir mekša. Ogrobotina je puno manje i puno teže uočljiva nego kod prvog uzorka pa se može zaključiti da je ovakav tip kućišta otporniji na grebanje.

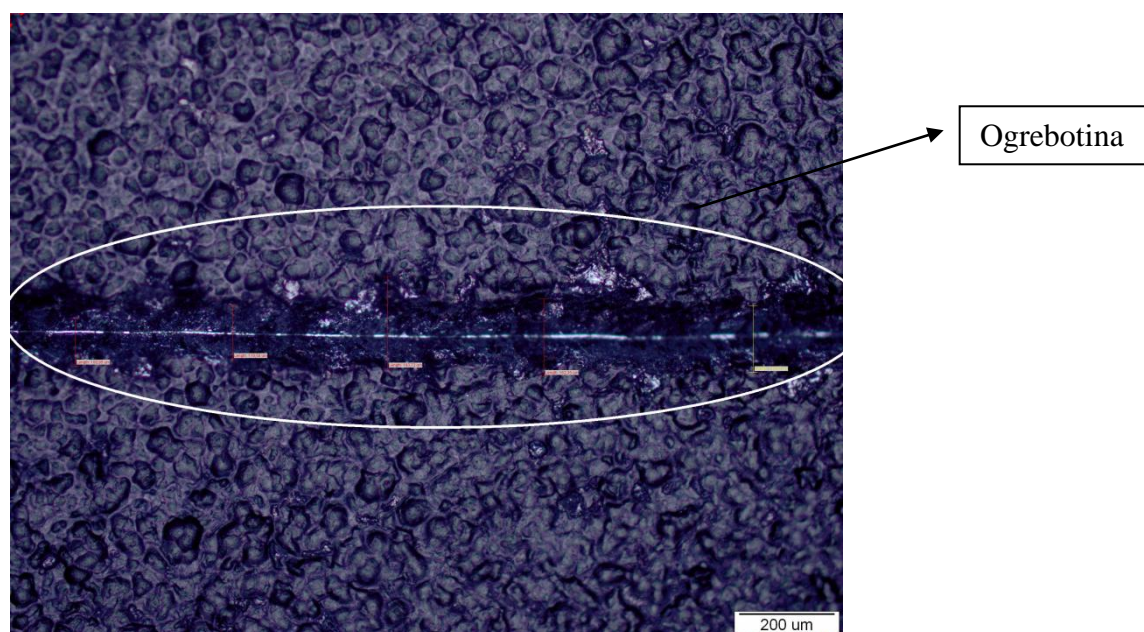
3. Treći uzorak označen brojem 3 na slici 31.



Slika 40. Ogrebotina na trećem uzorku

Na slici 40. je prikazana ogrebotina na trećem uzorku koji je polimerni (PC). Površina je bila na dodir glatka i tvrda. Ogrebotina se slabije uočava kao i kod drugog uzorka pa se može zaključiti da je ovaj tip kućišta otprilike jednako otporan na grebanje kao i drugi uzorak.

4. Četvrti uzorak prikazan na slici 24.



Slika 41. Ogrebotina na četvrtom uzorku

Na slici 41. je prikazana ograbotina na metalnom kućištu. Ograbotina se veoma jasno može uočiti. Prosječna širina ograbotine iznosi 0,16 mm. Ograbotina je potpuno oštetila prevlaku koja se nalazila na kućištu te je dubina ograbotina do osnovnog materijala.

5. Zaključak

U ovom radu provedena su ispitivanja različitih kućišta mobilnih telefona.

Na temelju rezultata ispitivanja se može utvrditi da se koriste materijali koji su bili navedeni u teorijskom dijelu rada. Također se može zaključiti da vrsta materijala i vrsta prevlake utječu na trošenje. Veliki utjecaj imaju i eksploatacijski uvjeti.

Potrebno je napomenuti da su u ovom radu korištena kućišta samo određenih mobilnih proizvođača te to ne znači da i ostali mobilni proizvođači koriste iste materijale.

LITERATURA

- [1] <http://www.macrumors.com/2015/09/30/iphone-6s-plus-component-costs/> [14.4.2016.]
- [2] <http://mob.hr/smartphone-procesori-1-dio-opcenito/> [21.4.2016.]
- [3] <http://kompjuterlas.com/sta-je-procesor/> [21.4.2016.]
- [4] <http://www.bug.hr/forum/topic/procesori-mbo/vodic-kroz-maticne-ploce-pocetnike/34633.aspx> [29.4.2016.]
- [5] <http://www.njuskalo.hr/image-w920x690/iphone-dijelovi/iphone-5s-maticna-ploca-slika-48772171.jpg> [1.5.2016.]
- [6] <http://blog.dnevnik.hr/tehnickakultura/2010/11/> [26.4.2016.]
- [7] https://hr.wikipedia.org/wiki/Zaslon_osjetljiv_na_dodir [27.3.2016.]
- [8] <http://www.vidipedija.com/index.php?title=Touchscreen> [2.2.2016.]
- [9] http://www.odigital.com/uploads/2227/22794/Touch_Screen_with_Digitizer_for_iPhone_990.jpg [3.5.2016.]
- [10] <http://www.racunalo.com/kako-radi-kapacitivni-sustav-za-raspoznavanje-dodira-u-smartfonima-i-tabletima-ucimo-zajedno/> [21.4.2016.]
- [11] <https://sh.wikipedia.org/wiki/Baterija> [3.5.2016.]
- [12] https://hr.wikipedia.org/wiki/Litij-ionska_baterija [3.5.2016.]
- [13] <https://chargedevs.com/wp-content/uploads/2014/12/Samsung-Battery-TechStage-1.jpg> [4.5.2016.]
- [14] https://hr.wikipedia.org/wiki/Litij-ionska_baterija [22.4.2016.]
- [15] <http://www.consolereparatie.eu/contents/media/iphone%20%20accu%20baterij.jpg> [26.3.2016.]
- [16] <http://mob.hr/odrzavanje-baterija/> [28.4.2016.]
- [17] T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof : Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2007.
- [18] <http://www.racunalo.com/smartfoni-i-njihova-tijela-izradena-od-plastike-metala-i-stakla-prednosti-i-nedostaci/> [3.5.2016.]
- [19] <http://cdn2.gsmarena.com/vv/pics/htc/htc-one-x-plus.jpg> [29.4.2016.]
- [20] <http://www.technobuffalo.com/wp-content/uploads/2014/04/HTC-One-M8-Review-Hero-0061.jpg> [4.5.2016.]

- [21] <http://icdn2.digitaltrends.com/image/apple-iphone-4-10-2-720x720.jpg?ver=1>
[4.5.2016.]
- [22] <http://mob.hr/blog/wp-content/uploads/noviupload/White-iPhone-4-Main.jpg>
[3.5.2016.]
- [23] <http://mob.hr/plastika-aluminij-ili-staklo/> [6.5.2016.]
- [24] <http://mob.hr/detaljno-gorilla-glass/> [7.5.2016.]
- [25] <http://www.telekineza.com/riznica-znanja/mobilni-ekrani/gorilla-glass-1-2-3/>
[3.5.2016.]
- [26] <http://www.racunalo.com/smartfoni-i-materijali-koristeni-za-njihovu-izradu-nastavak-price/> [2.5.1016.]
- [27] Z. Schauperl, predavanja iz kolegija Karakterizacija materijala, Zagreb 2013.

PRILOZI

I. CD-R disc